

Bibliotheek
Proefstation
Naaldwijk

A
05
G
67

CHTING PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS

Onderzoek naar de verdamping van
een stookaubergineteelt in 1981

R. de Graaf

BIBLIOTHEEK
PROEFSTATION VOOR TUINBOUW
ONDER GLAS TE NAALDWIJK

Naaldwijk, september 1982

Intern verslagnr. 39

STICHTING PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS

Onderzoek naar de verdamping van
een stookaubergineteelt in 1981

R. de Graaf

BIBLIOTHEEK
PROEFSTATION VOOR TUINBOUW
ONDER GLAS TE NAALDWIJK

INHOUD

1. Inleiding
2. Werkwijze
 - 2.1. Algemene gegevens
 - 2.2. Proefopzet en proefverloop
3. Bespreking van de resultaten
 - 3.1. Waterverbruik
 - 3.2. Gewasverdamping
 - 3.3. Verband tussen globale straling en transpiratie
 - 3.4. Verband tussen de Δt (temperatuur binnen min t_{binnen} temperatuur buiten) en de transpiratie gedurende de nacht
 - 3.5. Opbrengstgegevens
4. Samenvatting en conclusies
5. Literatuur

1. Inleiding

Het onderzoek naar de waterhuishouding van onder glas geteelde gewassen werd in 1981 vervolgd met een verdampingsonderzoek bij aubergine. In dit verslag worden de resultaten van de metingen met de lysimeters en weegschalen besproken. Naast de metingen van de waterbalans met de lysimeters en weegschalen werd als proef een wekelijkse waterbalans opgesteld van een auberginegewas geteeld op steenwol. Uit de gegevens van de waterbalansen werd de verdamping berekend.

2. Werkwijze

2.1. Algemene gegevens

Het verdampingsonderzoek bij aubergines (ras: Adona) vond plaats tijdens een stookteelt in de periode van 28 januari tot en met 25 oktober 1981. Er werden tussen de drie kasafdelingen geen verschillen in behandeling aangebracht. In elke kasafdeling werd in de directe omgeving van de lysimeterbak een weegschaal opgesteld. Het proefvak met de steenwolteelt werd in de middelste kasafdeling aangelegd.

Er werd gewerkt met vier rijen planten per kap bij een plantafstand van 60 cm. Per lysimeter stonden twaalf planten. Per weegschaal stond één plant in een bak (bak breed; 40,5, lang 60,0, hoog 11,5 cm). De teelt op steenwol omvatte een proefvak van vier rijen van elk zeven planten. De klimaatregeling werd in de drie kasafdelingen zo goed mogelijk gelijk ingesteld en kwam min of meer overeen met een in de praktijk gebruikelijke regeling bij een stookaubergineteelt.

2.2. Proefopzet en proefverloop

De werkwijze met de lysimeters en weegschalen was ongewijzigd ten opzichte van eerder verricht verdampingsonderzoek bij andere gewassen (Hamaker, 1978, De Graaf 1978). Tijdens de proef met aubergine werd de grondwaterstand in de lysimeters op 80 cm beneden maaiveld gehandhaafd.

Het opstellen van de waterbalans bij de teelt op steenwol gebeurde op een vergelijkbare wijze als bij de lysimeters. De watergift werd tweemaal per dag via een pijlbuis op een voorraadvat afgelezen en de met de drainage afgevoerde hoeveelheid water werd met behulp van een vlotter verbonden met een schrijver op een strook papier genoteerd.

Er werd naar gestreefd veranderingen in de vochtberging in de lysimeters en de steenwolmatten te minimaliseren door frequente vochtvoorziening van kleine hoeveelheden water.

De vochtvoorziening vond in de lysimeters en op de steenwol plaats via druppelbevloeiing. Aanvankelijk werd de grootte van de veelal dagelijkse watergift met de hand ingesteld. Hierbij werd rekening gehouden met de plantgrootte, groei beheersing, drainafvoer en de globale straling.

Na 13 april vond de vochtvoorziening aan de lysimeter geheel automatisch plaats met behulp van zonintegratoren (De Graaf, 1978). De gietfrequentie en de grootte van de watergift nam toe naarmate de hoeveelheid straling toenam. In de nazomer- en herfstperiode werd de frequentie en de grootte van de gift weer verlaagd. In het begin van de teelt werd éénmaal per

twee dagen - éénmaal per dag water gegeven. Tijdens zonnige zomerse dagen kon de gietfrequentie oplopen tot drie- à viermaal per dag. Bij de vochtvoorziening aan de steenwol werd gebruik gemaakt van een tijdklok. In de beginperiode werd twee- à viermaal per dag water gegeven. In de zomermaanden werd de frequentie opgevoerd tot tien- à twaalfmaal per dag. In de herfstperiode werd achtmaal per dag water gegeven. De hoeveelheid water per gietbeurt werd eveneens aan de behoefte aangepast.

Buiten de lysimeters vond de berekening plaats door middel van twee breedsproeiende leidingen per kap. Met het aan de lysimeters toegediende water werd vanaf begin mei tot 11 september continu mest gedoseerd. De planten op steenwol kregen van af het begin tot het einde van de teelt water met voeding toegediend. Het water dat aan de weegschalen werd toegediend bevatte, behalve aan het eind van de proef, eveneens voedingszouten. Bij de watergift aan de lysimeters en steenwol was een extra watergift inbegrepen om tijdens de teelt door te spoelen.

De grond (veensubstraat) in de bakken op de weegschalen werd afgedekt met zwart plastic folie, zodat de geregistreeerde gewichtsveranderingen vrijwel uitsluitend het gevolg waren van transpiratie van de plant. Het vochtverlies uit de bakken op de weegschalen werd één- à driemaal per dag met water aangevuld.

Met de lysimeters werd de verdamping van zowel de planten (transpiratie) als de verdamping via het grondoppervlak (evaporatie) gemeten.

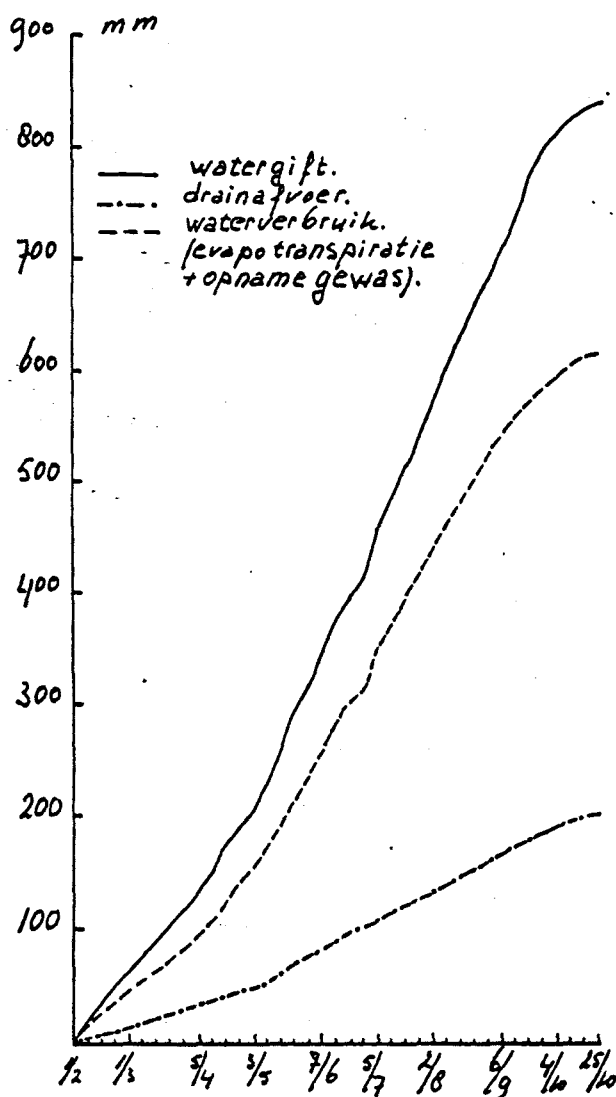
Te zamen de evapotranspiratie genoemd. De steenwolmatten werden met plastic folie afgedekt, zodat hoofdzakelijk de transpiratie van de planten werd gemeten.

De groei en ontwikkeling van de planten geteeld in de lysimeters waren vergelijkbaar tot beter dan de buiten de proef geteelde planten. De teelt van de planten op steenwol is niet voor de volle honderd procent optimaal geweest, hetgeen verband hield met het feit dat de planten door omstandigheden opgekweekt werden in potten met potgrond en zo ook geplaatst werden op de steenwolmat. Het is uit de praktijk bekend dat deze werkwijze niet tot de beste resultaten leidt. Het telen van planten vooral over een lange periode in kleine bakken met relatief weinig grond, die bovendien niet uitgespoeld kunnen worden, is niet altijd succesvol. Ook deze keer bleven de planten op de weegschalen in de loop van de teelt, de één meer dan de ander, achter in groei ten opzichte van de omringende in de grond geteelde planten.

3. Bespreking van de resultaten

3.1. Waterverbruik

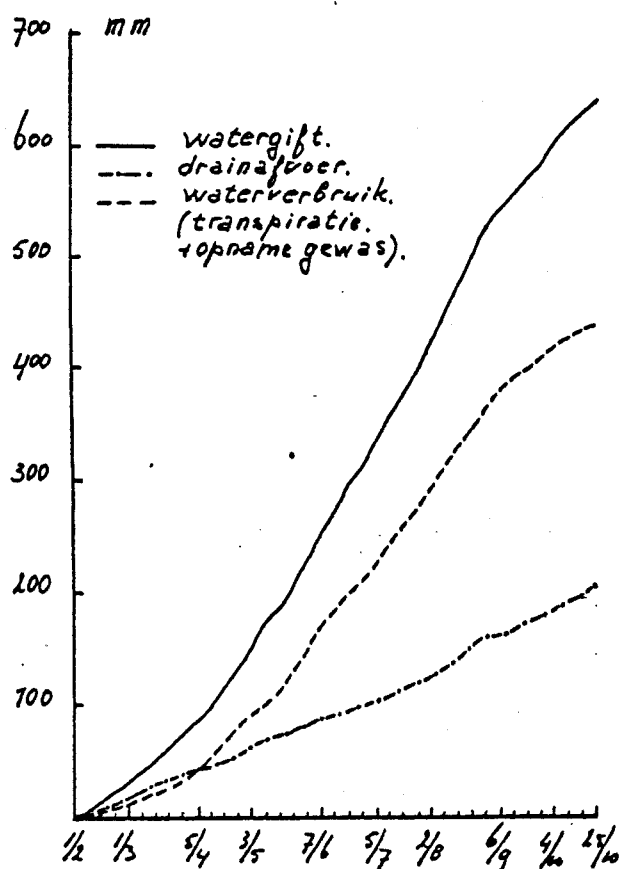
De resultaten van de metingen met de lysimeters, de weegschalen en de steenwolteelt worden hier in grote lijnen besproken aan de hand van figuren 1, 2 en 3 en tabel 1. Onder punt 3.2. zal in meer detail worden ingegaan op de gewasverdamping.



Figuur 1. Gegevens betreffende de gemiddelde cumulatieve watergift, drainafvoer en het waterverbruik van de aubergine-teelt in de lysimeters

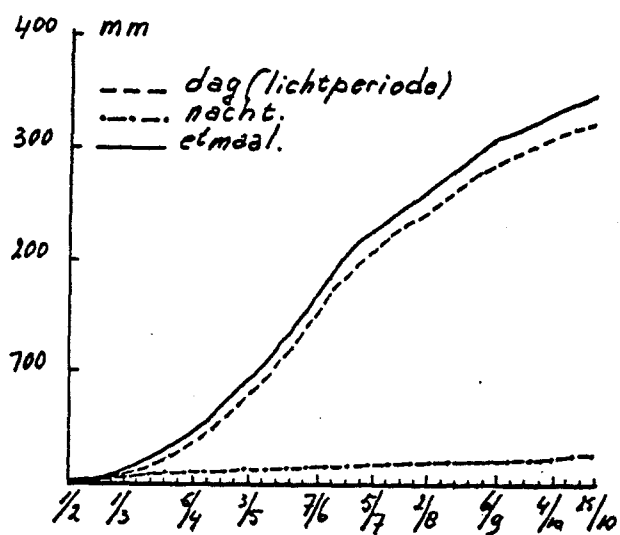
Figuur 1. heeft betrekking op het gemiddelde van de drie lysimeters. Uit figuur 1 blijkt dat zowel de watergift als de drainafvoer vrij regelmatig verliepen. Dit houdt in dat er geen bijzonder grote veranderingen in de vochtberging zijn opgetreden tijdens de teelt. De figuur laat zien dat het cumulatieve waterverbruik (evapotranspiratie plus opname van water door het gewas) aanvankelijk volgens een kromme curve verliep. Duidelijk werkten groei, ontwikkeling en straling in de zelfde richting, namelijk verhoging van de evapotranspiratie-intensiteit. Vanaf begin à half mei was het gewas volgroeid in de zin dat dan de bodembedekkings-

graad niet verder toenam en de hoogste stralingsinterceptie werd bereikt. De evapotranspiratie-intensiteit nam echter nog verder toe in verband met de toenemende daglengte en stralingsintensiteit. Na begin augustus neemt de evapotranspiratie-intensiteit, onder invloed van het korter worden van de dagen en het verminderen van de stralingsintensiteit, duidelijk af. Door de toenemende stookinvloed, vooral gedurende de nacht, is de afname van de evapotranspiratie-intensiteit minder groot dan op grond van de verminderde straling was te verwachten. Eenzelfde beeld geeft in figuur 2 het cumulatieve waterverbruik (transpiratie plus opname van water door het gewas) van de planten op steenwol te zien.



Figuur 2. Gegevens betreffende de cumulatieve watergift, drainafvoer en het waterverbruik van de aubergineteelt op steenwol

In figuur 3 zijn gegevens betreffende de cumulatieve transpiratie per dag (lichtperiode), per nacht en per etmaal van de plant op weegschaal 2 weergegeven. De cumulatieve dag en etmaaltranspiratie geven ongeveer eenzelfde soort curve te zien als de curven in figuur 1 en 2.



Figuur 3. Gegevens betreffende de cumulatieve transpiratie van de aubergineplant op weegschaal 2

Uit het verloop van de curve is zichtbaar dat in de maand juli de transpiratie-intensiteit afnam. Deze afname was het gevolg van het feit dat de plant op de weegschaal, door de tragere groei, in de schaduw kwam te staan van de omringende in de grond geteelde planten. De plant op de weegschaal ontving hierdoor steeds minder straling, waardoor de groei nog meer achterbleef en de nieuw ontstane bladen steeds kleiner werden. De transpiratie nam hierdoor aanmerkelijk af.

Vanaf 26 augustus werden de omringende planten "naar beneden gehaald". waardoor de koppen van de planten op de weegschalen weer gelijk kwamen met de koppen van de omringende planten. Vanaf dat moment ontvingen de planten op de weegschalen weer ongeveer evenveel straling als de omringende planten, werd de groei van de planten beter en nam de transpiratie toe. Vrij snel daarna nam echter de transpiratie-intensiteit af door het korter worden van de dagen en het afnemen van de stralings-intensiteit.

Uit het verloop van de cumulatieve curve van de transpiratie gedurende de nacht blijkt dat aan het einde van de teelt de transpiratie gedurende de nacht toenam onder invloed van de langere nachten en de toenemende stookinvloed.

In tabel 1.a. en b. zijn voor de lysimeters, de steenwolteelt en de weegschalen gegevens betreffende de waterbalans en de hieruit berekende (evapo)-transpiratie per teelt en gemiddeld per etmaal weergegeven. Bij de weegschalen is bovendien onderscheid gemaakt tussen de transpiratie gedurende de dag (lichtperiode) en de nacht.

Tabel-1.a. Waterbalans aubergine voor de lysimeters en steenwol

Object	mm gift		mm drain-afvoer		mm verbruik		mm opname gewas		mm evapo-transp.		Percentage doorspoelen
	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	
lysm. 1	790	2.9	180	0.7	610	2.3	13	0.05	597	2.2	23%
lysm. 2.	814	3.0	229	0.8	585	2.2	15	0.06	570	2.1	28%
lysm. 3	836	3.1	191	0.7	645	2.4	18	0.07	627	2.3	23%
gem. 1, 2, 3	813	3.0	200	0.7	613	2.3	15	0.06	598	2.2	25%
steenwol	640	2.4	202	0.8	438	1.6	16	0.06	422*	1.6	32%

* transpiratie

Tabel 1.b. Waterbalans aubergine voor de weegschalen

Object	mm gift		mm opname gewas		mm transpiratie		mm (dag-licht) transp.		mm ('snachts) transp.		Percentage nacht. t.o.v. etmaal
	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	tot.	gem. -1 etm.	
weegsch. 1	251	0.9	10	0.04	241	0.9	218	0.8	23	0.1	9,5%
weegsch. 2	361	1.3	11	0.04	350	1.3	323	1.2	27	0.1	7,7%
weegsch. 3	297	1.1	12	0.04	285	1.0	259	1.0	26	0.1	9,1%
gem. 1, 2, 3	303	1.1	11	0.04	292	1.1	267	1.0	25	0.1	8,6%

Zoals uit tabel 1.a. blijkt varieerde de evapotranspiratie van de drie lysimeters onderling enigszins. Het verschil tussen lysimeter 2 en 3 bedraagt 10%. Een precieze verklaring voor deze onderlinge verschillen die ook bij eerdere metingen werden waargenomen, werd nog niet gevonden. Mogelijk spelen het plantmateriaal, maar waarschijnlijker het optreden van verschillen in klimaat tussen de kasafdelingen onderling hierbij een rol.

De transpiratie van de planten geteeld op steenwol was zoals te verwachten kleiner dan de evapotranspiratie gemeten met de planten in de lysimeters. Het verschil bedroeg 29% en kan voor een deel worden verklaard door het zo goed als uitschakelen van verdamping via het grondoppervlak en het afdekken van de steenwolmatten met plastic folie. Een ander deel van het verschil kan worden toegeschreven aan het in de loop van de teelt ontstaan van een wat kleiner en lichter gewas bij de teelt op steenwol in vergelijking met het gewas in de lysimeters en buiten de proef. Hoewel de planten op steenwol in het algemeen kleiner waren dan de omringende planten kwamen de planten op steenwol, door het relatief grote proefvak, niet zo in de schaduw te staan als het geval was bij de planten op de weegschalen. Vermindering van de transpiratie door schaduw van de omringende planten zal dan ook in mindere mate het geval zijn geweest dan bij de planten op de weegschalen.

De totale transpiratie gemeten met de drie weegschalen vertoont zoals uit tabel 1.b. blijkt onderling vrij grote verschillen en ligt gemiddeld ook beduidend lager dan de transpiratie gemeten met de planten op steenwol. De onderlinge verschillen werden vooral veroorzaakt door het meer of minder achter blijven in groei en ontwikkeling van de planten op de weegschalen ten opzichte van de andere behandelingen. Gedurende de nacht waren de onderlinge verschillen in transpiratie in verhouding kleiner. Gemiddeld per drie weegschalen vond over de gehele teelt 8,6% van de transpiratie gedurende de nacht plaats.

Dit percentage komt overeen met een percentage dat eerder werd gevonden voor tomaat en paprika.

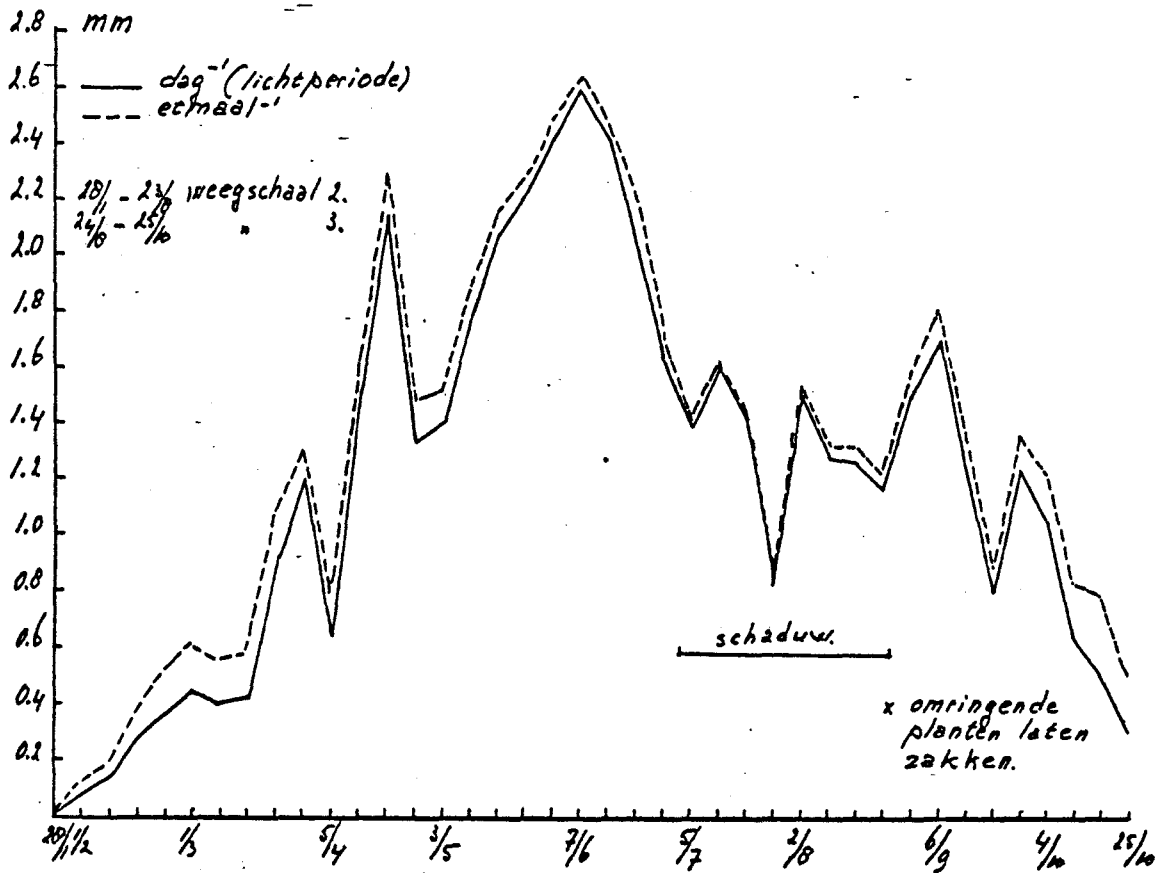
Voor wat de lysimeters betreft komt het gemeten percentage doorgespoelde hoeveelheid water goed overeen met de berekende extra watergift van 20 à 25% om tijdens de teelt door te spoelen. Bij de steenwolteelt ligt dit percentage wat hoger. De totale watergift aan de steenwolteelt had kennelijk, hoewel reeds geringer dan de totale watergiften aan de lysimeters, nog wat kleiner kunnen zijn.

Gezien de omstandigheden mogen wij aan de cijfers verkregen met de weegschalen niet te veel absolute waarde hechten. Wij kunnen dit wel doen aan de cijfers verkregen met de lysimeters. De gegevens van de totale evapotranspiratie zijn dan ook naar wij mogen aannemen goed vergelijkbaar met de evapotranspiratie van een auberginegewas in de praktijk.

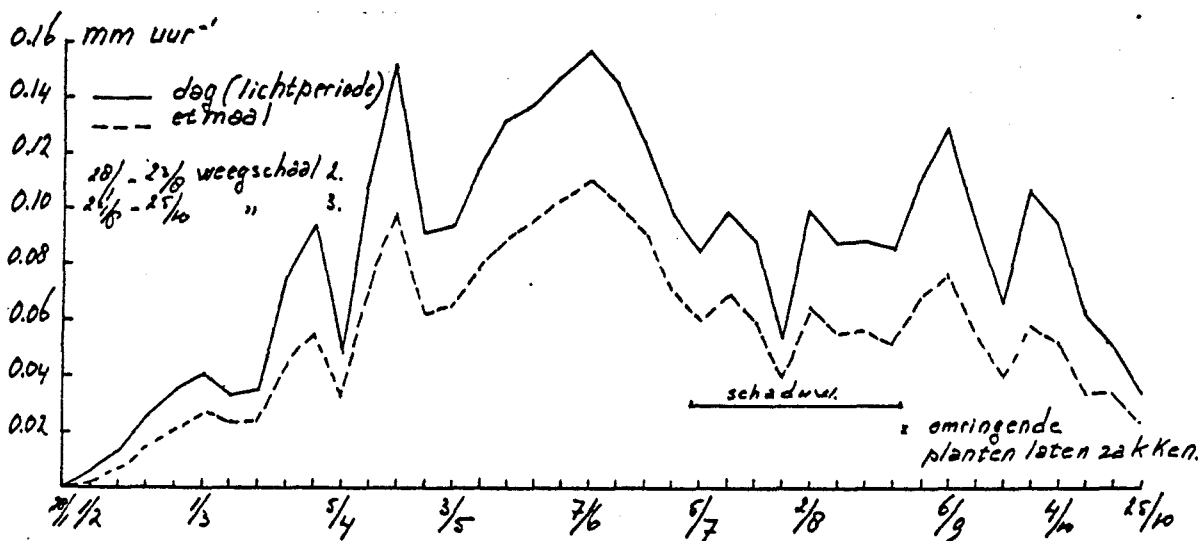
In wat mindere mate geldt dit ook voor de transpiratie gemeten met de planten op steenwol.

3.2. Gewasverdamping

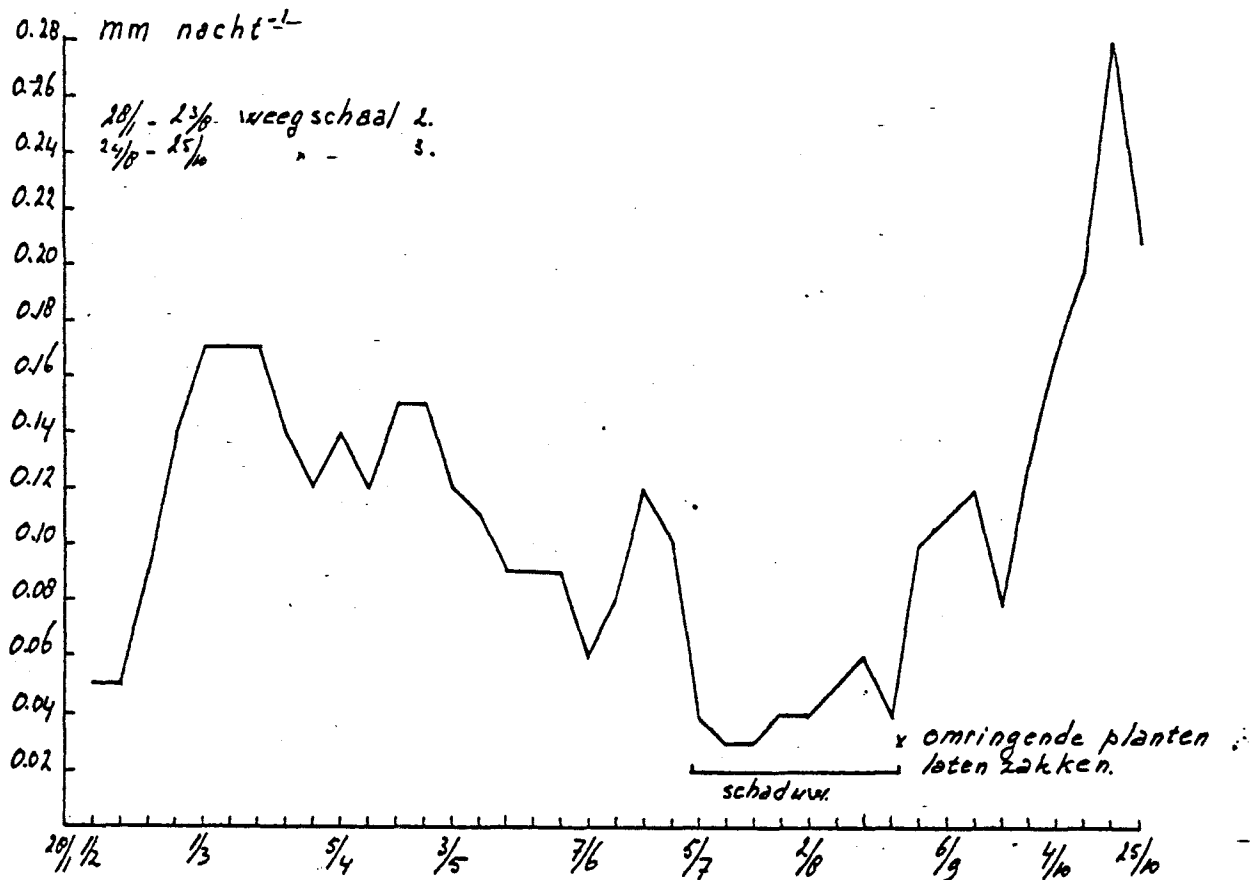
In figuur 4.a. tot en met 4.d. wordt in meer detail ingegaan op de gewasverdamping.



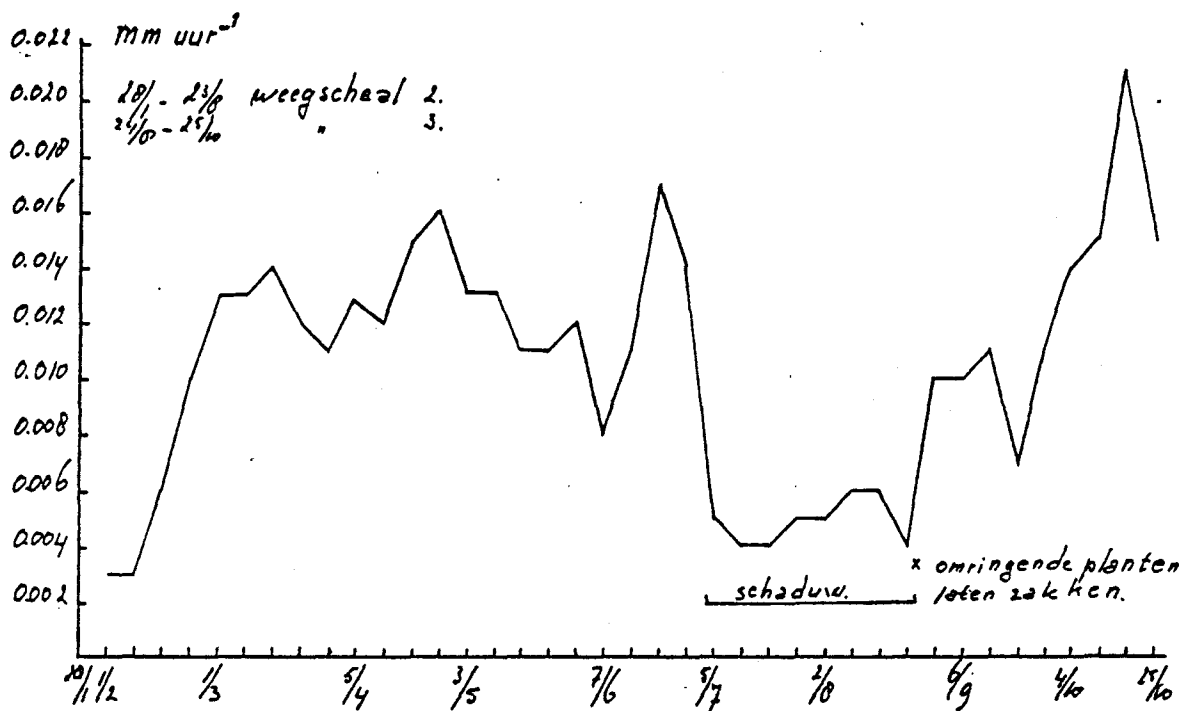
Figuur 4.a. Verloop van de gemiddelde transpiratie per dag (lichtperiode) en per etmaal van de aubergineplant op de weegschaal over op een volgende perioden van zeven dagen of etmalen



Figuur 4.b. Verloop van de transpiratie van de aubergineplant op de weegschaal in mm per uur gemiddeld over perioden van zeven dagen (lichtperioden), of etmalen



Figuur 4.c. Verloop van de gemiddelde transpiratie per nacht van de aubergineplant op de weegschaal over opeenvolgende perioden van zeven nachten.



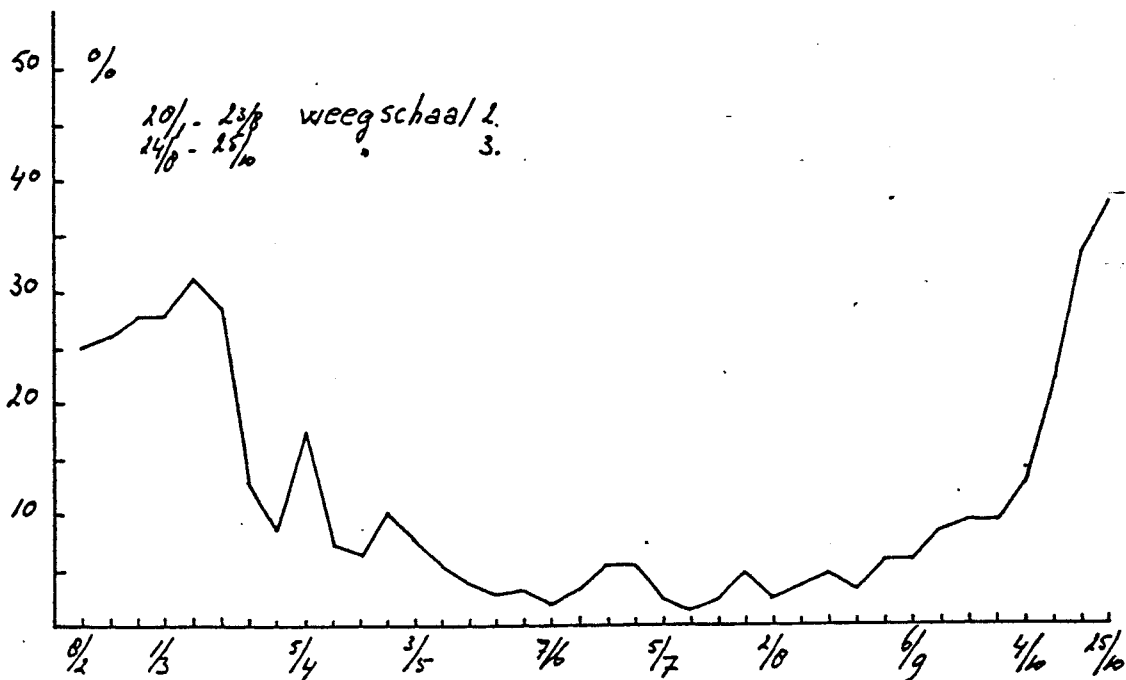
Figuur 4.d. Verloop van de transpiratie gedurende de nacht van de aubergineplant op de weegschaal in mm per uur gemiddeld over perioden van zeven nachten

In figuur 4-a. is de gemiddelde transpiratie overdag en per etmaal over opéénvolgende perioden van zeven dagen (lichtperioden) en zeven etmalen voor de plant op de weegschaal in afdeling 2 (na 23 augustus in afdeling 3) weergegeven. Onder punt 3.1. is reeds ingegaan op de grote onderlinge verschillen in transpiratie van de planten op de weegschalen. De hierboven genoemde gegevens van opéénvolgende periode van de plant op weegschaal 2 of 3 zijn nog het meest representatief voor de transpiratie van een aubergineplant. De invloed van de toename van de daglengte, stralingsintensiteit en van de plantgrootte komt uit het verloop van figuur 4.a. naar voren. Daarnaast komt de invloed van de fluctuaties van de straling op het verloop van de transpiratie van dag tot dag tot uiting. Vanaf begin september is de invloed van de afname van de straling op de transpiratie duidelijk zichtbaar. De afname van de transpiratie was in verhouding minder groot dan op grond van de afname van de straling was te verwachten, doordat tegelijkertijd de invloed van stoken op de transpiratie weer toenam. De invloed van schaduw van omringende planten op de transpiratie gedurende de periode juli tot en met 24 augustus is eveneens zichtbaar in het verloop van figuur 4.a. Bij het beoordelen van figuur 4.a. moet bedacht worden dat in deze figuur al een sterke nivellering heeft plaatsgevonden door het middelen van de gegevens over opéénvolgende perioden van zeven dagen. (Een dergelijke nivellering geldt ook voor de nog te bespreken curven in figuur 4.b. tot en met 4.d.). Doordat de transpiratie gedurende de nacht absoluut gezien niet zo groot was is er ook geen groot verschil tussen de twee in figuur 4.a. weergegeven curven.

Bij de transpiratie overdag is de lengte van de dag mede bepalend voor de totale transpiratie per dag. In figuur 4.b. is daarom de gemiddelde transpiratie per dag gedeeld door het aantal uren licht (zonsopgang tot zonsondergang) en weergegeven in mm per uur. Eén en ander heeft tot gevolg dat de gemiddelde transpiratie per uur in verhouding over een kortere periode toeneemt tot een bepaald maximum. Dit maximum ligt in verhouding lager van het maximum van de gemiddelde transpiratie per dag. In figuur 4.b. is tevens het verloop van de gemiddelde transpiratie per uur over perioden van een etmaal weergegeven. Een nadere analyse van de samenhang tussen de globale straling, plantgrootte en transpiratie wordt gegeven in punt 3.3. Het verloop van de gemiddelde transpiratie per nacht over opéénvolgende perioden van zeven nachten is weergegeven in figuur 4.c. Ook uit het verloop van deze figuur is de invloed van de plantlengte (grootte) en de nachtlengte op de grootte van de transpiratie merkbaar. Zo neemt tot begin maart, onder invloed van de toename van de plantlengte, aanvankelijk de nachtelijke transpiratie nog toe ondanks het korter worden van de nachten.

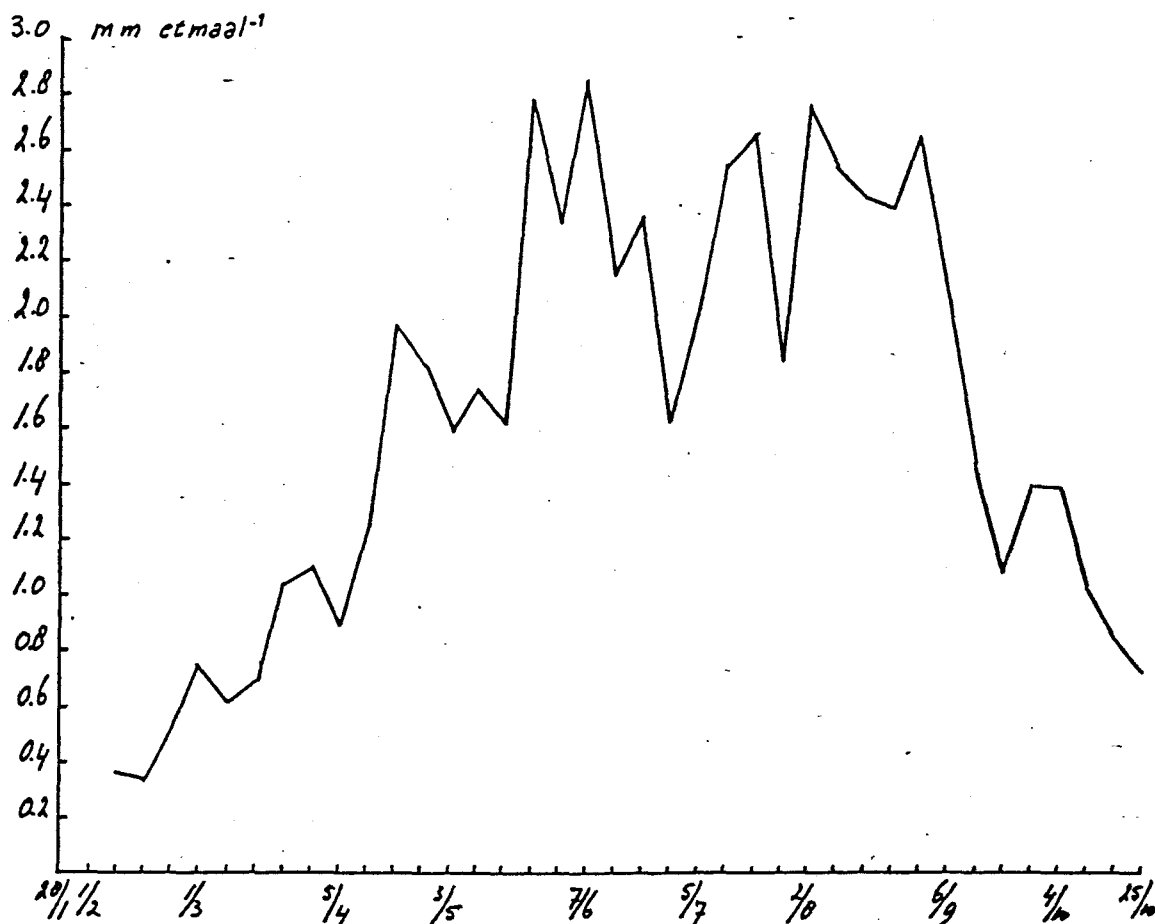
Hierna was, hoewel de plantlengte nog toenam, de invloed van het korter worden van de nachten overwegend en nam de transpiratie gemiddeld af. In de maand juli bereikt de transpiratie 's nachts een minimum om daarna geleidelijk aan weer toe te nemen. In september maar vooral in oktober nam de transpiratie 's nachts door het geleidelijk aan groter worden van de stook-involed en het langer worden van de nachten zelfs beduidend toe. Naast de invloed van het seizoen komt de invloed van de fluctuaties van factoren als ruimtetemperatuur, stoken, ventileren en condensatie op het verloop van de transpiratie van nacht tot nacht tot uiting. In figuur 4.d. is voor de nacht de gemiddelde transpiratie per uur weergegeven. Uit vergelijking van figuur 4.d. met 4.c. blijkt dat de afname van de totale hoeveelheid transpiratie 's nachts vooral samenhangt met het korter worden van de nachten.

De gemiddelde transpiratie 's nachts per uur bleef namelijk na half april tot begin juli vrij constant. De afname van de transpiratie door het geleidelijk aan verminderen van de stookinvloed werd kennelijk gecompenseerd door de geleidelijke toename van de plantlengte (grootte). Door de verminderde groei in de periode juli tot en met 24 augustus bleef de transpiratie ook gedurende de nacht in verhouding achter, hetgeen vooral blijkt uit het verloop van de gemiddelde transpiratie per uur vermeld in figuur 4.d. Onder invloed van de geleidelijk toenemende stookinvloed nam vooral in oktober de gemiddelde transpiratie per uur weer toe. Uit de waarnemingen blijkt dat de transpiratie 's nachts in verhouding, vooral in perioden dat er tevens flink werd gestookt vrij groot was. In de maanden februari en maart vond van de totale transpiratie dan ook 25 à 30% gedurende de nacht plaats en gedurende eind oktober, met een weliswaar oude maar volgroeid gewas, bedroeg dit zelfs 35 à 40%. Een overzicht van het verloop van de transpiratie gedurende de nacht in procenten van de totale transpiratie per etmaal geeft figuur 5.



Figuur 5. Verloop van de transpiratie van de aubergineplant op de weegschaal gedurende de nacht in procenten van de transpiratie per etmaal.

Het verloop van de gemiddelde transpiratie per etmaal over perioden van zeven etmalen, voor de planten geteeld op steenwol, is weergegeven in figuur 6.

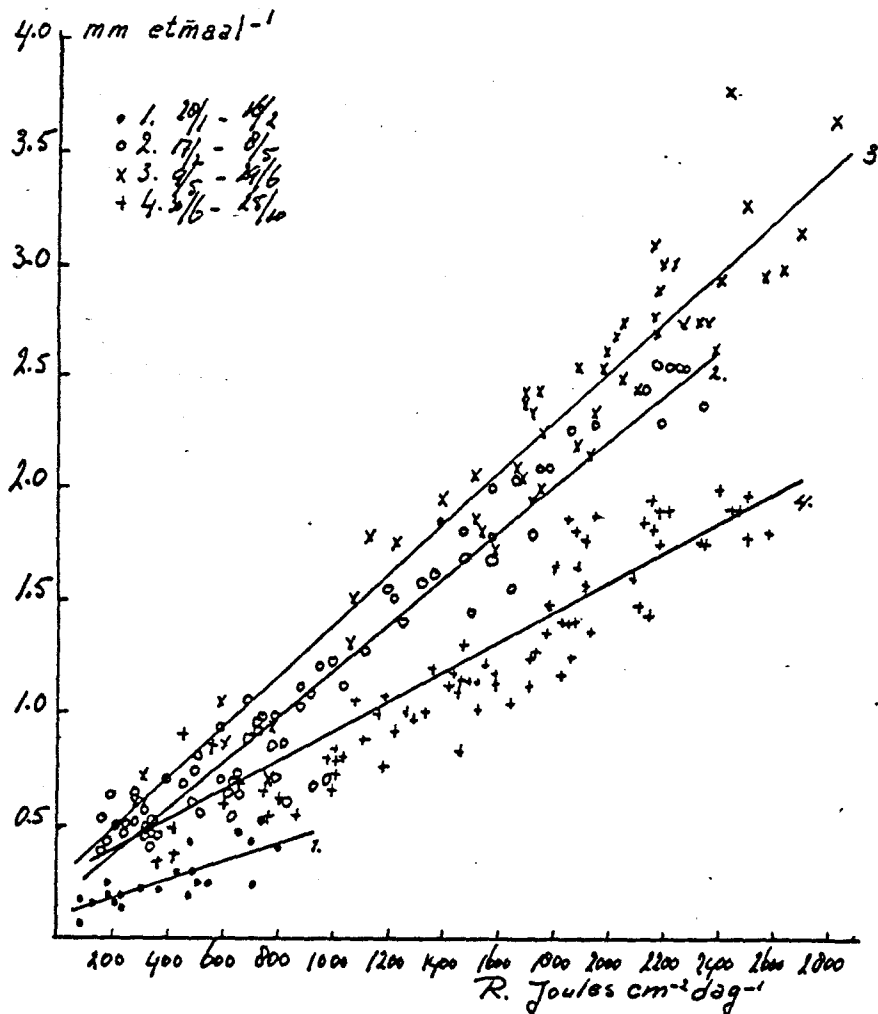


Figuur 6. Verloop van de gemiddelde transpiratie van aubergine op steenwol in mm per etmaal over opeenvolgende perioden van zeven etmalen

Het verloop van de transpiratie van de planten op steenwol komt, met uitzondering van de periode juli tot en met augustus in grote lijnen overeen met het verloop van de transpiratie gemeten met de plant op de weegschaal. Voor het verband tussen de transpiratie gemeten met de plant op de weegschaal en de planten op de steenwol kon de volgende regressievergelijking worden berekend ($W = 0.99 S - 0.01$, $r = 0.95$. W = transpiratie van de plant op weegschaal 2 of 3 in mm per etmaal. S = transpiratie van de planten op steenwol in mm per etmaal). De waarnemingen in de periode juli/augustus zijn hierbij niet meegerekend.

3.3. Verband tussen globale straling en transpiratie

In figuur 7 is als voorbeeld de transpiratie van de plant op weegschaal 2 uitgezet tegen de globale straling.



Figuur 7. Verband tussen de globale straling en de etmaaltranspiratie van de aubergineplant op weegschaal 2

De punten in de figuur hebben betrekking op waarnemingen van 24 uur. Er is onderscheid gemaakt in een viertal perioden. De eerste twee perioden hebben betrekking op de onvolgroeide plant. Bij elk van deze twee perioden behoort een bepaalde gemiddelde plantlengte, waardoor de toenemende straling en plantlengte in beeld kan worden gebracht. Gedurende de eerste vier maanden nam de plantlengte toe van 26 cm naar 160 cm. Dit ging gepaard met een sterke toename van de transpiratie bij een gegeven dagsom van de straling. Tijdens de derde periode werd naar wij mogen aannemen voor de plant op de weegschaal een plantlengte bereikt waarbij de stralingsinterceptie door het gewas maximaal was geworden. Er kon echter niet, zoals bij tomaat (De Graaf 1978) een bepaalde plantlengte worden vastgesteld waarbij geen verdere toename van de transpiratie bij een gegeven hoeveelheid straling, meer plaatsvond. Zeer waarschijnlijk werd in de loop van de derde periode de transpiratie van de plant op de weegschaal al nadelig beïnvloed door

beschaduwning door omringende planten. Tijdens de vierde periode bleef de transpiratie zelfs aanzienlijk achter ten opzichte van de hoeveelheid straling. Opvallend was dat, hoewel de transpiratie per etmaal van de plant op weegschaal 2 van het begin af aan ten opzichte van de twee andere planten het grootste was, er na het laten zakken van de omringende planten slechts een gering herstel van de groei en daarmee van de transpiratie optrad. Waarom de transpiratie van de plant op weegschaal 2 zich slechts gering herstelde is niet zonder meer duidelijk. Verschillen in kasklimaat en of plantlengte (bladmassa) kunnen hierbij opnieuw van invloed zijn geweest. Van de twee andere planten herstelde vooral de plant op weegschaal 3 zich bijzonder goed. Hetgeen ook blijkt uit de gegevens vermeld in tabel 2.a., 2.b. en 2.c. naar de berekeningen van de lineaire regressievergelijkingen voor de planten op de drie weegschalen per afzonderlijke periode zijn vermeld. Naast de onderscheiden perioden zijn tevens de daarbij behorende gemiddelde plantlengten vermeld. De vergelijkingen zijn gegeven met de straling uitgedrukt in de gebruikelijke eenheden in Joules per cm² en in de met de straling equivalente hoeveelheden latente warmte in mm per dag.

Tabel 2.a. Regressievergelijkingen voor het verband tussen de transpiratie Weegschaal 1 (T) van de plant op de weegschaal en de globale straling (R)

Periode	Gemiddelde lengte	T: mm etmaal ⁻¹ ; R: Joules cm ⁻² dag ⁻¹	r
1. 28/01-17/02	34 cm	$T = 3.168 \times 10^{-4} R + 0.08$	0.78
2. 18/02-03/04	61	$T = 5.211 \times 10^{-4} R + 0.30$	0.89
3. 04/04-06/05	93	$T = 7.035 \times 10^{-4} R + 0.22$	0.93
4. 07/05-11/06	117	$T = 8.428 \times 10^{-4} R - 0.04$	0.83
5. 12/06-16/07	148	$T = 5.825 \times 10^{-4} R + 0.07$	0.96
6. 17/07-06/09	184	$T = 4.133 \times 10^{-4} R + 0.16$	0.83
7. 07/09-25/10	216	$T = 7.037 \times 10^{-4} R + 0.14$	0.93

1. 28/01-17/02	34 cm	$T = 0.08 R^* + 0.08$	0.78
2. 18/02-03/04	61	$T = 0.13 R^* + 0.30$	0.89
3. 04/04-06/05	93	$T = 0.18 R^* + 0.22$	0.93
4. 07/05-11/06	117	$T = 0.21 R^* - 0.04$	0.83
5. 12/06-16/07	148	$T = 0.14 R^* + 0.07$	0.96
6. 17/07-06/09	184	$T = 0.10 R^* + 0.16$	0.83
7. 07/09-25/10	216	$T = 0.18 R^* + 0.14$	0.93
$R^* \text{ (mm etmaal}^{-1}\text{)} = 4.02 \times 10^{-3} R \text{ (Joules cm}^{-2}\text{ dag}^{-1}\text{)}$			

Tabel 2.b.
Weegschaal 2

Periode	Gemiddelde lengte	T: mm etmaal ⁻¹ ; R: Joules cm ⁻² dag ⁻¹	r
1. 28/01-16/02	35 cm	$T = 4.131 \times 10^{-4} R + 0.09$	0.79
2. 17/02-08/05	83	$T = 1.013 \times 10^{-3} R + 0.18$	0.97
3. 09/05-29/06	156	$T = 1.147 \times 10^{-3} R + 0.24$	0.96
4. 30/06-25/10	215	$T = 6.533 \times 10^{-4} R + 0.27$	0.93

1. 28/01-16/02	35 cm	$T = 0.103 R^* + 0.09$	0.79
2. 17/02-08/05	83	$T = 0.252 R^* + 0.18$	0.97
3. 09/05-29/06	156	$T = 0.285 R^* + 0.24$	0.96
4. 30/06-25/10	215	$T = 0.163 R^* + 0.27$	0.93

$R^* \text{ (mm etmaal}^{-1}\text{)} = 4.02 \times 10^{-3} R \text{ (Joules cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}\text{)}$			
--	--	--	--

Tabel 2.c.
Weegschaal 3

Periode	Gemiddelde lengte	T: mm etmaal ⁻¹ ; R: Joules cm ⁻² dag ⁻¹	r
1. 28/01-16/02	31 cm	$T = 3.558 \times 10^{-4} R + 0.09$	0.87
2. 17/02-03/04	57	$T = 4.607 \times 10^{-4} R + 0.31$	0.93
3. 04/04-06/05	97	$T = 6.064 \times 10^{-4} R + 0.26$	0.98
4. 07/05-11/06	147	$T = 9.016 \times 10^{-4} R - 0.05$	0.94
5. 12/06-16/07	189	$T = 6.536 \times 10^{-4} R + 0.12$	0.96
6. 17/07-26/08	227	$T = 5.017 \times 10^{-4} R + 0.22$	0.85
7. 27/08-25/10	237	$T = 9.284 \times 10^{-4} R + 0.32$	0.95

1. 28/01-16/02	31 cm	$T = 0.089 R^* + 0.09$	0.87
2. 17/02-03/04	57	$T = 0.115 R^* + 0.31$	0.93
3. 04/04-06/05	97	$T = 0.151 R^* + 0.26$	0.98
4. 07/05-11/06	147	$T = 0.224 R^* - 0.05$	0.94
5. 12/06-16/07	189	$T = 0.163 R^* + 0.12$	0.96
6. 17/07-26/08	227	$T = 0.125 R^* + 0.22$	0.85
7. 27/08-15/10	237	$T = 0.231 R^* + 0.32$	0.95

$R^* \text{ (mm etmaal}^{-1}\text{)} = 4.02 \times 10^{-3} R \text{ (Joules cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}\text{)}$			
--	--	--	--

In alle drie de gevallen werd voor de diverse perioden een veelal hoge correlatie gevonden tussen de globale straling en de transpiratie. Uit het verloop van de regressie-coëfficiënten blijkt voor alle drie de planten de sterke toename van de transpiratie bij een gegeven stralingsniveau tot half respectievelijk eind juni ten gevolge van de lengtegroei van de planten. Ook de relatief geringe transpiratie door beschaduwning in de periode juli/augustus en het (gedeeltelijke) herstel hierna blijkt uit het verloop van de regressie-coëfficiënten.

Uit de resultaten van de berekeningen kan worden afgeleid dat gerekend over de periode met de hoogste stralingsintensiteit en "volgroeide" planten (mei, juni) er door de plant op weegschaal 1, 2 en 3 respectievelijk 21, 29 en 22% van de globale straling in latente warmte werd omgezet. Deze percentages zijn in vergelijking met bijvoorbeeld percentages die werden berekend voor tomaat of paprika tamelijk laag. Voor volgroeide tomatenplanten werd berekend dat 37% en voor volgroeide paprikaplanten 40% van de globale straling in latente warmte werd omgezet (De Graaf, J. van den Ende 1981). Het lage percentage bij de aubergine wijst er op dat de transpiratie gedurende een groot deel van de teelt zeker niet optimaal is geweest.

Uit gegevens van de gemiddelde evapotranspiratie van de lysimeters 1, 2 en 3 en de globale straling kon voor de gehele teeltperiode een lineair verband worden vastgesteld tussen de globale straling en de evapotranspiratie. De volgende in tabel 3.a. vermelde regressievergelijkingen konden worden berekend. De vergelijkingen zijn gegeven met de evapotranspiratie (E) uitgedrukt in mm per etmaal en de straling (R) in Joules per cm² per etmaal, beiden gemiddeld over perioden van zeven dagen. Het totale aantal wekelijkse waarnemingen met de lysimeters was te gering om hieruit meer dan één perioden met de daarbij behorende plantlengten te kunnen onderscheiden. Bovendien werd de invloed van de plantlengte op de evapotranspiratie voor een deel te niet gedaan door de vooral in de beginperiode van de teelt, vrij grote verdamping die plaatsvond via het grondoppervlak.

Tabel 3.a. Regressievergelijkingen voor het verband tussen de globale straling en de evapotranspiratie van de lysimeters

Object	E: mm etmaal ⁻¹ ; R: Joules cm ⁻² etmaal ⁻¹	r
lys. 1	$E = 1.3617 \times 10^{-3} R + 0.52$	0.79
lys. 2	$E = 1.2619 \times 10^{-3} R + 0.65$	0.85
lys. 3	$E = 1.3809 \times 10^{-3} R + 0.61$	0.81
gem. 1, 2, 3	$E = 1.2620 \times 10^{-3} R + 0.68$	0.87

In tabel 3.b. zijn de regressievergelijkingen weergegeven met de straling uitgedrukt in een equivalente hoeveelheid latente warmte in mm per dag.

Tabel 3.b.

Object	E: mm etmaal ⁻¹ ; R*: mm etmaal ⁻¹	r
lys. 1	$E = 0.34 R^* + 0.52$	0.79
lys. 2	$E = 0.31 R^* + 0.65$	0.85
lys. 3	$E = 0.34 R^* + 0.61$	0.81
gem. 1, 2, 3	$E = 0.31 R^* + 0.68$	0.87

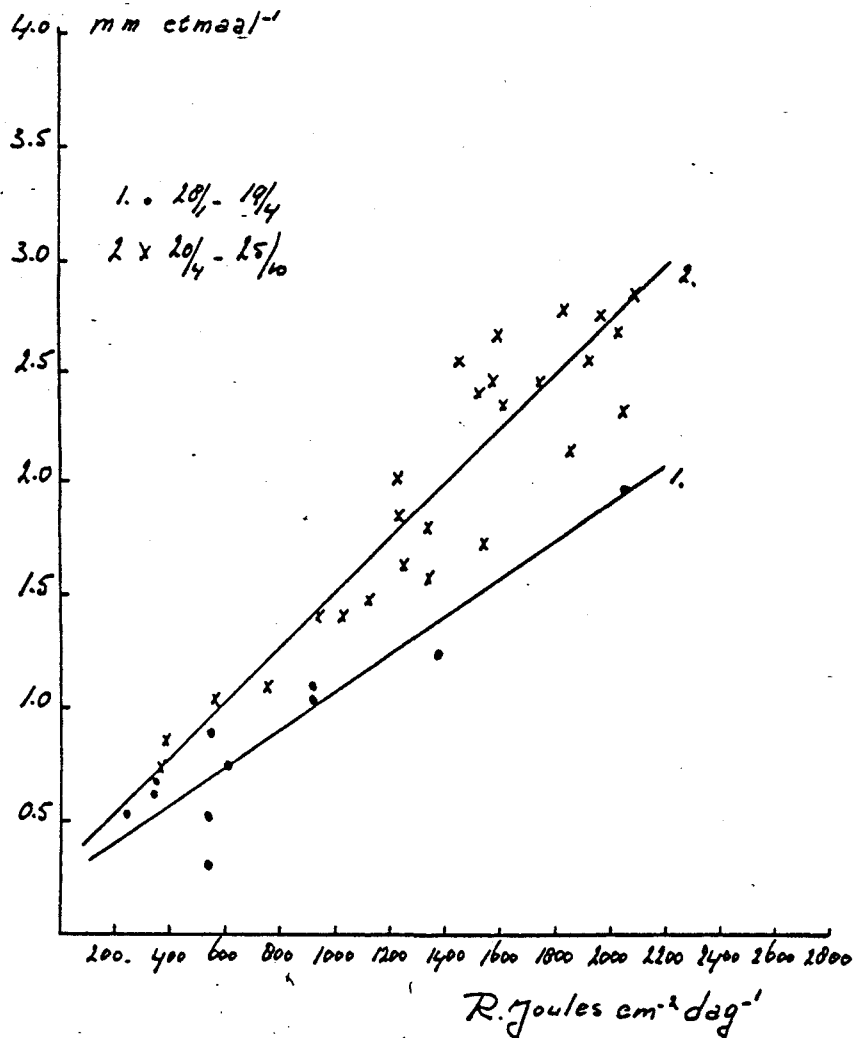
Uitgaande van de evapotranspiratie over de gehele teeltperiode zijn de uit de berekeningen afgeleide percentages van 31 à 34% welke door de planten in de lysimeters in latente warmte werden omgezet wat lager dan percentages die werden berekend voor tomaat en paprika (De Graaf, J. van den Ende 1981). Voor tomaat en paprika werd, eveneens uitgaande van de evapotranspiratie over een gehele teelt, berekend dat respectievelijk 36 en 38% van de globale straling in latente warmte werd omgezet. Gezien de groei en ontwikkeling van de aubergineplanten in de lysimeters mogen wij aannemen dat de evapotranspiratie optimaal is geweest. Wat mogelijk inhoudt dat de optimale evapotranspiratie van aubergines gemiddeld wat lager ligt dan de optimale evapotranspiratie van tomaat of paprika.

De correlatie-coëfficiënten vermeld in tabel 3 variëren van 0.79 tot 0.85. Tijdens eerder verricht lysimeteronderzoek werden correlatie-coëfficiënten berekend van 0.93 tot 0.96 (De Graaf, J. van den Ende 1981). Het kleiner worden van de correlatie-coëfficiënten zijn een aanwijzing voor het in de loop van de tijd minder betrouwbaar worden van de lysimeters. Naar de oorzaak hiervan werd achteraf een onderzoek ingesteld (Westra 1982). Uit dit onderzoek bleek dat de metingen van de waterbalans met de lysimeters geleidelijk aan minder betrouwbaar werden door afvoer of aanvoer van (drain)water dat geen verband hield met een teveel of tekort aan water. Deze extra aan- of afvoer werd veroorzaakt door (plotselinge) veranderingen van de luchtdruk.

Een verklaring voor dit verschijnsel is zeer waarschijnlijk de aanwezigheid van gasbellen in het grondwater in de lysimeterbakken. Bij een verlaging van de luchtdruk zullen de gasbellen uitzetten waardoor de grondwaterstand in de lysimeterbakken wordt verhoogd. Bij een verhoging van de luchtdruk zal het omgekeerde proces plaatsvinden.

Het is ook mogelijk dat er bij een (plotselinge) verandering van de luchtdruk een tijdelijk verschil in luchtdruk ontstaat tussen het open freatisch vlak (grondwaterspiegel in de meetput) en het gesloten freatisch vlak (grondwaterspiegel in de lysimeterbak). Het tijdelijk verschil in luchtdruk ontstaat door de weerstand van het grondprofiel boven het grondwatervlak in de lysimeterbak. Door het tijdelijk drukverschil ontstaat er een verhoging of verlaging van de grondwaterstand in de lysimeterbak waardoor water wordt aan- of afgevoerd (Stevenson 1967).

Voor de teelt op steenwol is in figuur 8 het verband weergegeven tussen de globale straling en de transpiratie.



Figuur 8. Verband tussen de globale straling en de gemiddelde etmaal transpiratie van de planten op steenwol over perioden van een week

Evenals bij de lysimeters was het aantal waarnemingen met de planten geteeld op steenwol gering. Er kan dan ook slechts onderscheid worden gemaakt in een tweetal perioden. Voor deze perioden konden de volgende in tabel 4.a. vermelde regressievergelijkingen worden berekend. Waarbij de transpiratie (T) is uitgedrukt in mm per etmaal en de globale straling (R) in Joules per cm² per etmaal beiden gemiddeld over perioden van zeven etmalen.

Tabel 4.a. Regressievergelijkingen voor het verband tussen de globale straling en de transpiratie van de planten op steenwol

Periode	T: mm etmaal ⁻¹ ; R: Joules cm ⁻² etmaal ⁻¹	r
28/01-19/04	$T = 8.266 \times 10^{-4} R + 0.25$	0.93
20/04-25/10	$T = 1.221 \times 10^{-3} R + 0.29$	0.84

In tabel 4.b. zijn de regressievergelijkingen weergegeven voor de straling uitgedrukt in een equivalente hoeveelheid latente warmte (R^*) in mm per dag.

Tabel 4.b.

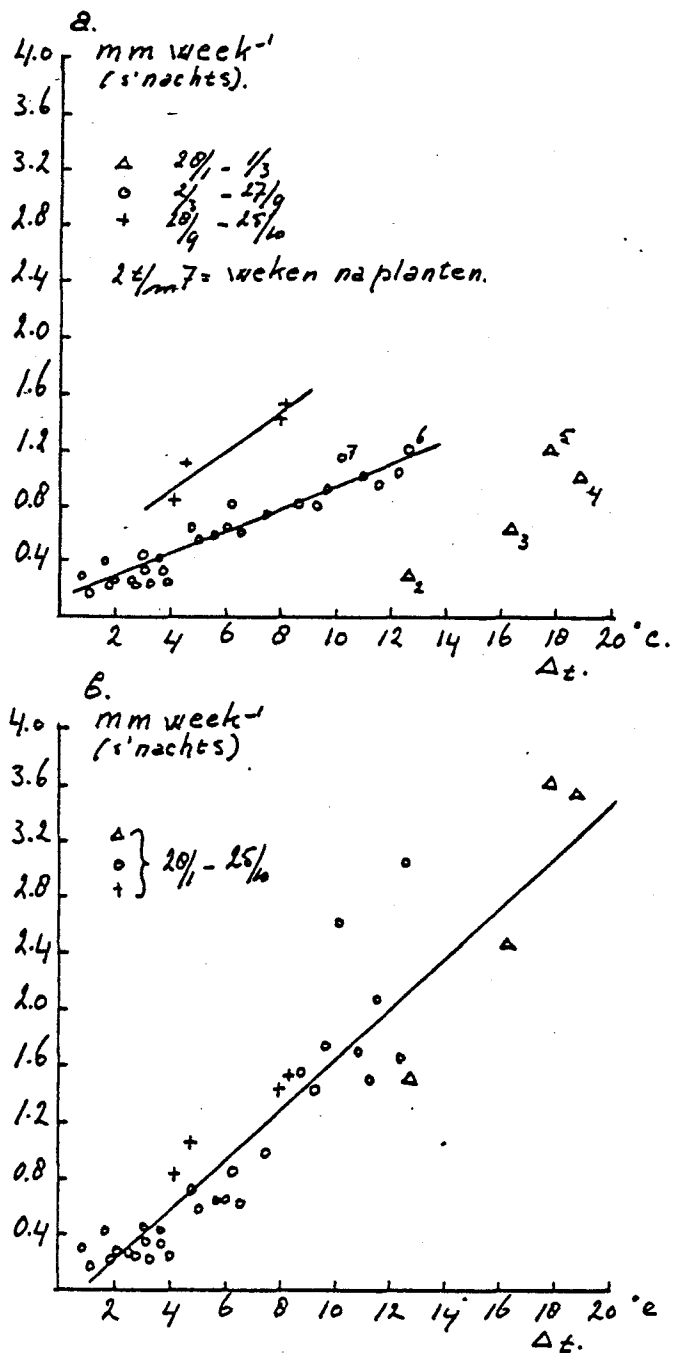
Periode	T: mm etmaal ⁻¹ ; R^* : mm etmaal ⁻¹	r
28/01-19/04	$T = 0.21 R^* + 0.25$	0.93
20/04-25-10	$T = 0.30 R^* + 0.29$	0.84

Uit de berekeningen van de regressievergelijking van de tweede periode kan worden afgeleid dat door het "volgroeide" gewas 30% van de globale straling in latente warmte werd omgezet.

3.4. Verband tussen de Δt en de transpiratie gedurende de nacht

Naast de onder punt 3.3. besproken relatie tussen de globale straling en de transpiratie werd ook het verband tussen de Δt en de transpiratie gedurende de nacht bestudeerd. (Δt is het verschil tussen de gemiddelde temperatuur binnen de kas en de gemiddelde temperatuur buiten).

Daarbij werd uitgegaan van de met de weegschalen gemeten transpiratie gedurende de nacht per periode van zeven nachten en de gemiddelde Δt per zeven nachten. Tussen de Δt en de transpiratie bleek een lineair verband te bestaan. Als voorbeeld is voor de plant op weegschaal 2 in figuur 9.a. en 9.b. de samenhang tussen de Δt en de transpiratie weergegeven.



Figuur 9. Verband tussen de Δt (temperatuur binnen min temperatuur buiten) en de transpiratie gedurende de nacht van de aubergineplant op weegschaal 2.
a. werkelijke waarnemingen
b. gecorrigeerd op plantlengte

Evenals bij het verband tussen de globale straling en de transpiratie kan bij het verband tussen de Δt en de transpiratie onderscheid worden gemaakt tussen een aantal deelperioden met de daarbij behorende plantlengte.

In het bijzonder gedurende de eerste vijf weken van de teelt is één en ander duidelijk zichtbaar uit het verloop van de punten in genoemde figuur 9.a. Maar ook nog tijdens de daarop volgende periode werd zeker nog tot in juni de grootte van de transpiratie gedurende de nacht bij een gegeven Δt , mede bepaald door de plantlengte. Hetgeen ook blijkt uit figuur 9.b. waarin de gemeten transpiratie, vermenigvuldigd met het quotiënt van de lengte van de "volgroeide" plant (160 cm werd hierbij aangehouden) en de werkelijke lengte, is uitgezet tegen de Δt en uitwijst dat de transpiratie gedurende de nacht bij benadering evenredig was met de plantlengte. De berekeningen van de regressievergelijkingen behorende bij figuren 9.a. en 9.b. staan in tabel 5. In deze tabel zijn tevens de berekeningen van de regressievergelijkingen van de twee andere planten vermeld.

Tabel 5. Regressievergelijkingen voor het verband tussen de Δt (temperatuur binnen min temperatuur buiten) en de transpiratie gedurende de nacht van de aubergineplanten op de weegschalen.

a = werkelijke gegevens

b = omgerekend naar "volgroeide" plant

weegschaal 1

a	Periode	T: mm week ⁻¹ ; Δt °C gem. week ⁻¹	r
	02/03-27/09	$T = 0.09 \Delta t + 0.06$	0.92
	28/09-25/10	$T = 0.06 \Delta t + 0.57$	0.96
b	20/01-25/10	$T = 0.20 \Delta t - 0.17$	0.87

weegschaal 2

a	Periode	T: mm week ⁻¹ ; Δt °C gem. week ⁻¹	r
	02/03-27/09	$T = 0.08 \Delta t + 0.14$	0.92
	28/09-25/10	$T = 0.14 \Delta t + 0.35$	0.96
b	28/01-25/10	$T = 0.18 \Delta t - 0.16$	0.94

weegschaal 3

a	Periode	T: mm week ⁻¹ ; Δt °C gem. week ⁻¹	r
	02/03-23/08	$T = 0.06 \Delta t + 0.14$	0.88
	24/08-25/10	$T = 0.19 \Delta t + 0.13$	0.94
b	28/01-25/10	$T = 0.19 \Delta t - 0.21$	0.90

Uit de in tabel 5 onder b vermelde regressievergelijkingen blijkt dat na correctie van de gegevens op plantlengte er tussen de drie regressievergelijkingen maar weinig verschil bestaat.

Aan het einde van de teelt bleef gedurende 2 à 3 weken de transpiratie 's nachts van de plant op weegschaal 1 achter ten opzichte van de twee andere planten. De oorzaak is waarschijnlijk ook hierbij weer het voorkomen van verschillen in kasklimaat tussen de afdelingen onderling. Het verschil tussen de gemiddelde Δt per nacht is afdeling 1 en 3 bedroeg bijvoorbeeld in september 1 à 1,8°C.

3.5. Opbrengstgegevens

Per lysimeter, per vergelijkbaar vak van twaalf binnen de proefplanten, per weegschaal en het vak met planten geteeld op steenwol werd de totaalopbrengst in kg per m² en het aantal vruchten per m² bepaald en in tabel 6 vermeld. Hoewel er een aantal duidelijke opbrengstverschillen tussen de behandelingen aanwezig waren mag aan de opbrengstverschillen geen al te grote waarde worden toegekend, omdat de opbrengstgegevens slechts in enkelvoud werden verzameld. De lage opbrengsten van de planten op de weegschalen hingen samen met de slechtere groei en ontwikkeling van deze planten. Opvallend is de hoge opbrengst van de planten in de lysimeter in afdeling 3. Gemiddeld waren voor alle behandelingen in afdeling 3 de opbrengsten het hoogst. De opbrengst van de planten geteeld op steenwol was zeker niet optimaal.

Tabel 6. Opbrengstgegevens aubergine

Behandeling	Opbrengst		Gemiddeld vruchtgewicht
	kg m ⁻²	aantal m ⁻²	
lysm. 1	16.95	58.22	291.1 gram
2	19.09	59.55	320.5 gram
3	21.48	63.60	337.8 gram
gem. 1, 2, 3	19.17	60.46	317.0 gram
bp afd. 1	16.80	51.48	326.3 gram
2	17.08	51.99	328.5 gram
3	18.77	58.40	321.4 gram
gem. 1, 2, 3	17.55	53.96	325.2 gram
weegschaal 1	12.21	35.40	344.9 gram
2	13.07	47.80	273.4 gram
3	13.81	45.76	301.5 gram
gem. 1, 2, 3	13.03	43.00	303.0 gram
steenwol	18.26	59.47	307.0 gram

4. Samenvatting en conclusies

De verdamping van stookaubergine werd bestudeerd in de lysimeterkas op het proefstation te Naaldwijk. In deze lysimeterkas werd in drie afdelingen met elk een lysimeter een wekelijkse waterbalans opgesteld en hieruit de evapotranspiratie berekend. Naast het meten van de waterbalans met de lysimeters werd in elke afdeling de transpiratie van één enkele plant gemeten met een weegschaal. In één afdeling werd als "oriënterende" proef een wekelijkse waterbalans opgesteld van een steenwolteelt.

De lysimeters gaven over langere perioden bruikbare gegevens over de evapotranspiratie van een auberginegewas. Deze gegevens waren weliswaar niet gedetailleerd en werden, wat de korte perioden betreft, nadelig beïnvloed door veranderingen van de luchtdruk. Daar stond echter tegenover dat de gemeten evapotranspiratie, gezien de groei-omstandigheden van de planten in de lysimeters, als representatief voor een gewas onder praktijkomstandigheden beschouwd mochten worden.

Evenals in eerder onderzoek werd geconstateerd waren er ook deze keer tussen de drie lysimeters onderling verschillen in totale evapotranspiratie aanwezig. De totale evapotranspiratie voor de periode van circa 10 maanden varieerde van 585 tot 645 mm. Onderlinge verschillen werden deels veroorzaakt door groeiverschillen die geleidelijk aan in de loop van de teelt ontstonden en deels door verschillen in klimaat tussen de kas-afdelingen onderling.

Met de weegschalen werden gedetailleerde metingen betreffende de transpiratie gedurende een dag (lichtperiode) en de nacht verkregen. De transpiratie gegevens per etmaal werden in verband gebracht met de globale straling. Tussen de globale straling en de transpiratie werd bij een gegeven plantlengte een lineair verband gevonden. De transpiratie gedurende de nacht bleek bij een gegeven plantlengte samen te hangen met de Δt (temperatuur binnen min temperatuur buiten). Aan de gegevens verkregen met de weegschalen mag geen al te grote absolute waarde worden toegekend, doordat de waarnemingen van de planten op de weegschalen nadelig werden beïnvloed door achterblijven in groei en ontwikkeling ten opzichte van de omringende in de grond geteelde planten. Door het achterblijven in groei kwamen de planten op de weegschalen in de schaduw te staan van de omringende planten. De transpiratie nam hierdoor nog extra af.

Voor de totale teeltperiode bedroeg het percentage transpiratie dat gemiddeld door de drie planten op de weegschalen 's nachts plaatsvond 8,6%. In het begin van de teelt werden wel percentages van 25 à 30% gemeten en aan het einde van de teelt 35 à 40%.

De resultaten van de "oriënterende" proef met de planten geteeld op steenwol waren, wat het opstellen van een waterbalans betreft, van dien aard dat er gedacht kan worden om in elke afdeling van de lysimeterkas één of meerdere steenwolvakken aan te leggen en hiervan een waterbalans op te stellen.

5. Literatūur

Graaf, R. de, 1978. Onderzoek naar de waterhuishouding in het bijzonder het waterverbruik bij een teelt van stooktomaten in 1977. Intern verslag nr. 36. Proefstation voor de Groente en Fruitteelt onder Glas.

Graaf, R. de, en J. van den Ende, 1981. Transpiration and evapotranspiration of the glasshouse crops. Acta Horticulturae 119, 1981, blz. 147-158.

Hamaker, Ph. en R. de Graaf, 1978. Onderzoek naar de teelt van paprika's en komkommers in het najaar. Intern verslag nr. 20. Proefstation voor de groenten- en Fruitteelt onder Glas.

Stevenson, D.S., and J.C. van Schaik. Some relations between changing barometric pressure and water movement into lysimeters having controlled water tables. J. Hydrology 5 (1967) 2: 187-196.